

# POSSIBILIDADES E RESTRIÇÕES NO USO DE EXPLICAÇÕES OFICIAIS DA FÍSICA QUÂNTICA: UMA ANÁLISE NA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES

Alexsandro P. Pereira

*Departamento de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Brasil.*  
alexandro.pereira@ufrgs.br

**RESUMO:** Neste trabalho, apresentamos uma análise do discurso de futuros professores de Física sobre tópicos introdutórios de física quântica. O objetivo é analisar o modo como os “recursos textuais” moldam a forma como futuros professores de Física pensam e falam sobre o mundo microscópico. O marco teórico usado nesse estudo é a abordagem sociocultural de James V. Wertsch. A metodologia de pesquisa consiste em uma análise de entrevistas realizadas com alunos do sétimo semestre do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. Os resultados da análise mostram que os recursos textuais utilizados oferecem sérias restrições na forma como os alunos representam a natureza dos objetos quânticos. Além disso, este estudo aponta que tais recursos textuais são utilizados com pouca ou nenhuma consciência por parte de seus usuários.

**PALAVRAS-CHAVE:** ação mediada; recursos textuais; voz; dualidade onda-partícula.

**OBJETIVOS:** Durante muito tempo, o desenvolvimento em física quântica foi caracterizado pelo que o historiador da ciência Max Jammer (1974) chamou de “incontestada monocracia” da escola de Copenhague. Apesar das críticas iniciais de Einstein e de Schrödinger na metade da década de 1930, a comunidade de físicos aderiu amplamente à interpretação da complementaridade de Niels Bohr (Freire, 2003). Já a década de 1950 foi marcada por variáveis ocultas, muitos mundos e outros desafios à escola de Copenhague. No entanto, foi somente a partir da década de 1970 que a comunidade de físicos passou a reconhecer a existência de uma controvérsia científica sobre os fundamentos da mecânica quântica (Freire, 2003). Atualmente, uma das tendências consiste em defender uma abordagem ortodoxa, porém realista da mecânica quântica (Bunge, 2003; Levy-Leblond, 2003).

Este trabalho apresenta uma análise do discurso de futuros professores de Física sobre tópicos de mecânica quântica. O objetivo é analisar o uso concreto de explicações da “ciência oficial” (Wertsch, 1991) – i.e., explicações que são explicitamente ensinadas nos currículos dos cursos de Licenciatura em Física – e examinar o modo como tais explicações moldam a maneira como os estudantes falam e pensam sobre o mundo natural. Nosso pressuposto básico é a afirmação de que o conhecimento científico não é propriedade de um indivíduo isolado, mas sim algo “distribuído” (Wertsch, 2002) entre os indivíduos (agindo sozinhos ou coletivamente) e recursos tais como tabelas, gráficos, equações ma-

temáticas e explicações científicas. Estamos particularmente interessados em examinar que aspectos da “controvérsia quântica” (Freire, 2003) são refletidos no discurso de futuros professores de Física sobre tópicos introdutórios de física quântica.

## MARCO TEÓRICO

O presente trabalho está fundamentado na análise sociocultural de James V. Wertsch (1991, 1998, 2002). A análise sociocultural busca relacionar os processos mentais com o contexto cultural, histórico e institucional no qual esses processos têm lugar, adotando a “ação mediada” como unidade de análise. A partir dessa perspectiva, qualquer forma de ação humana envolve o uso de ferramentas culturais que são fornecidas por uma configuração sociocultural particular. O uso concreto dessas ferramentas implica uma “tensão irreduzível” entre agentes ativos e item como calendários, mapas, equações matemáticas e a linguagem. Essa tensão é tão essencial que a resposta mais adequada para a pergunta “quem está realizando a ação?” é sempre o agente *mais* a ferramenta cultural empregada. Em um importante sentido, portanto, é como se as ferramentas culturais realizassem parte da ação.

Em *Mind as Action*, Wertsch (1998) analisou dez propriedades da ação medida e das ferramentas culturais. Para os propósitos desse trabalho, exploraremos apenas uma: a afirmação de que as ferramentas culturais restringem ao mesmo tempo em que possibilitam a ação. Diversos estudos enfatizam o modo como a linguagem e outras formas de mediação proporcionam o desenvolvimento de novas capacidades humanas (e.g., Vygotsky, 1987). No entanto, o foco restrito sobre os recursos que as ferramentas culturais possibilitam nos fornece apenas uma imagem parcial. A ideia básica é a de que mesmo quando uma ferramenta cultural liberta os agentes de certas limitações prévias, ela introduz outras novas que lhe são próprias. De modo geral, essas novas restrições são apenas reconhecidas em retrospecto.

No presente trabalho, as ferramentas culturais examinadas são “recursos textuais” (Wertsch, 2002) na forma de explicação. A noção de *texto* implicada nessa categoria, que pode ser escrito ou falado, deriva dos estudos de Bakhtin (1986) e é entendida como uma unidade organizadora básica que estrutura significado, comunicação e pensamento:

atrás de cada texto está um sistema de linguagem. Tudo no texto que é repetido e reproduzido, tudo repetível e reproduzível, tudo o que pode ser dado fora de um dado texto (o dado) se conforma a este sistema de linguagem. Mas ao mesmo tempo, cada texto (enquanto um enunciado) é individual, único e irrepetível, e aqui reside toda a sua significação (o seu plano, o propósito para qual ele foi criado). Este é o seu aspecto que pertence à honestidade, à verdade, à bondade, à beleza, à história. Com relação a este aspecto, tudo repetível e reproduzível prova ser material, um meio para um fim. (Bakhtin, 1986, p. 105, nossa tradução).

Na perspectiva de Wertsch (1998), a noção bakhtiniana de texto constitui um caso particular de ação mediada. A produção de enunciados implica o uso de um “sistema de linguagem” (ferramenta cultural) que introduz elementos *repetíveis e reproduzíveis*. Esse sistema, no entanto, é sempre utilizado pelo “locutor” (agente) de modo único e *irrepetível*. Além disso, os recursos textuais empregados têm sempre um histórico de uso por parte de outros falantes, trazendo consigo suas perspectivas gerais ou visões de mundo, que Bakhtin (1981) definiu como “voz”. Em um importante sentido, portanto, a “palavra na linguagem é sempre metade de outra pessoa” (p. 293).

## METODOLOGIA

A análise sociocultural descrita na seção anterior é consistente com vários caminhos de pesquisa:

- a) um caminho possível consiste em analisar a produção e/ou o consumo de ferramentas culturais;
- b) outra possibilidade consiste em examinar as propriedades específicas de uma ferramenta cultural particular no intuito de especificar a forma como elas fornecem possibilidades e restrições para a ação mediada (Wertsch, 2001).

Para analisar a maneira como as explicações oficiais da física quântica moldam nossa forma de falar e de pensar sobre o mundo microscópico, entrevistamos um grupo de alunos do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. Este grupo é constituído por cinco homens e duas mulheres, com idades entre 21 e 27 anos, que concluíram todas as disciplinas do currículo que abordam temas de física moderna. As entrevistas foram realizadas individualmente e versavam sobre tópicos introdutórios de física quântica, tais como dualidade onda-partícula, princípio de incerteza e função de onda. As entrevistas foram registradas em vídeo e os discursos produzidos foram pré-selecionados e transcritos para análise.

A análise dos discursos se baseou nos três aspectos do enunciado (estilo, tema e composição), definidos por Bakhtin (1986). No contexto desse trabalho, esses aspectos foram traduzidos em termos do *nível de descrição*, dos *elementos* que são (ou não) incluídos no enunciado e da *organização* desses elementos. Em particular, no caso do nível de descrição estamos interessados em examinar se os entrevistados se referem às entidades quânticas apenas no nível do fenômeno ou se eles fazem afirmações que estão para além daquilo que pode ser observado. Enunciados do primeiro tipo podem ser classificados como *fenomenologistas* (positivistas) enquanto que enunciados do segundo tipo podem ser classificados como *realistas*.

## RESULTADOS

Devido à limitação de espaço, apresentamos a análise do discurso de apenas um dos sujeitos da pesquisa. Esse discurso, no entanto, é bastante representativo do tipo de resposta fornecido pelos demais estudantes durante as entrevistas. Na transcrição a seguir, a letra E significa *Entrevistador*, enquanto que a letra A significa *Aluna*. Formas de “discurso direto” (Bakhtin/Volochinov, 2004) são representadas em itálico.

1. E: Vamos falar um pouco de dualidade onda-partícula. Parece ser um assunto importante. Como você entende isso? Quer dizer, será que o fóton ou o elétron é ao mesmo tempo partícula e onda? Às vezes é onda, às vezes é partícula? Nem um dos dois? O que você entende sobre isso? Depois, podemos pensar em uma situação específica, como a dupla fenda.
2. A: Eu entendo mais por comportamento. Assim... Eu não fico pensando muito numa materialização disso, sabe? Tipo, uma forma de onda. *Tem uma forma de onda. Tem uma forma de partícula. É um pontinho.* Eu fico pensando no comportamento. Em determinadas situações ele se comporta como uma onda e em determinadas situações se comporta como uma partícula. Mas eu não fico tentando materializar, porque isso é nebuloso.
3. E: Tá, mas e se você tivesse que dar aula sobre isso e um aluno pergunta: *mas afinal de contas, o que é um fóton? O que é um elétron? O que é isso que tu está tentando descrever com essa equação?*
4. A: Hum... Ah, tipo, eu acho que eu tentaria fazer com que ele pensasse como eu. Tipo, *não materializa, tenta pensar só no comportamento.* Assim, porque se não tu fica entrando numa “neura” muito grande. Eu não sei se eu explicaria, de fato, ou se eu tentaria fazer com que ele visse de outra forma. Eu acho que eu tentaria fazer com que ele visse de outra forma.

A primeira vista, parece haver nada de especial na resposta da aluna. Sua fala é bastante consistente com os livros didáticos usados em disciplinas introdutórias de física moderna na maioria das universidades brasileiras (cf. Eisberg & Resnick, 1976, p. 95). De fato, a conclusão de que “em determinadas situações [o objeto quântico] se comporta como uma onda e em determinadas situações se comporta como uma partícula” (enunciado 2) é bastante consensual no ensino de Física e constitui a verdadeira expressão da dualidade onda-partícula. Um olhar mais atento para certos elementos utilizados no enunciado, no entanto, nos revela que a aluna não responde exatamente a pergunta do entrevistador. Enquanto a pergunta se refere à natureza dos objetos quânticos, a resposta da aluna desloca o foco para o “comportamento” desses objetos (enunciados 2 e 4). Em termos do nível de descrição, podemos dizer que se trata de uma resposta epistemológica a uma pergunta ontológica.

Uma questão relevante, nesse caso, se refere ao porquê de a aluna não responder a pergunta que lhe foi feita. Será que ela simplesmente não entendeu a questão? Com base na análise de seus enunciados, temos razões para acreditar que esse não foi o caso. Primeiramente, porque o entrevistador insistiu nessa questão ao perguntar como ela responderia se a dúvida viesse de um aluno (enunciado 3). Aparentemente, ela preferiu manter sua estratégia de “pensar só no comportamento” (enunciado 4). Em segundo lugar, porque a resposta da aluna (enunciado 3) está organizada em termos de uma oposição entre aquilo que ela *faz* (pensar no comportamento) e aquilo que ela *não faz* (tentar materializar). Afirmativas negativas como “eu não fico tentando materializar” (enunciado 3) mostram que ela entendeu perfeitamente a pergunta.

Para apreciar o papel dos recursos textuais na atividade discursiva, não devemos considerar a fala como o produto de um agente isolado, mas sim como um processo envolvendo duas vozes. Se, por um lado, existem elementos dessa transcrição que pertencem à aluna de 22 anos, que participava de uma entrevista sobre temas de física quântica em sua universidade, por outro lado, é possível ouvir as vozes do positivismo lógico, materializadas na forma da interpretação de Copenhague. Apesar de a aluna sugerir a complementaridade dos conceitos clássicos de onda e de partícula em sua resposta (enunciado 3), em nenhum momento ela fez qualquer referência ao nome de Niels Bohr, à escola de Copenhague ou ao próprio princípio da complementaridade. A ausência desses elementos, no discurso, sugere certa falta de consciência, por parte da aluna, com relação aos recursos textuais empregados. A ideia de que uma interpretação alternativa (realista) pudesse existir parece nem ter passado por sua cabeça.

## CONCLUSÕES

Neste trabalho, apresentamos uma análise de discurso de uma aluna de um curso de Licenciatura em Física de uma universidade brasileira em entrevista sobre tópicos de física quântica. O objetivo da análise foi compreender o papel da mediação textual na atuação discursiva de futuros professores de Física acerca do mundo microscópico. Os resultados da análise mostraram que a resposta da aluna é moldada pelos recursos textuais empregados. Se, por um lado, tais recursos textuais a possibilitaram falar sobre o comportamento de fótons e elétrons em determinadas montagens experimentais, por outro, eles oferecem importantes “restrições” (Wertsch, 1998) no modo de representar o mundo microscópico. Além disso, é possível ouvir as vozes do positivismo lógico juntamente com a voz da aluna, produzindo um discurso tipicamente fenomenalista.

A aparente falta de consciência, por parte da aluna, com relação aos recursos textuais empregados aponta para necessidade de tornar visível o processo de mediação textual no ensino de ciências, em especial na formação inicial de professores. Parafraseando Wertsch (2002), é como se a aluna olhasse para os recursos textuais que ela empregava e não pudesse ver ou apreciar o modo como eles moldavam o que ela dizia. A tomada de consciência da natureza textualmente mediada do conhecimento

científico, nesse caso, se torna necessária não apenas para reconhecer os limites impostos pelos recursos textuais utilizados pelos estudantes, mas também para possibilitar possíveis mudanças nos “padrões de privilegição” (Wertsch, 1991) utilizados no contexto escolar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAKHTIN, M. M. (1981). *The dialogic imagination: Four essays by M. M. Bakhtin*. Austin: University of Texas Press.
- (1986). *Speech genres and other late essays*. Austin: University of Texas Press.
- BAKHTIN, M. M. (Volochinov, V.N.) (1986). *Marxismo e filosofia da linguagem*. 11 ed. São Paulo: Editora Hucitec.
- BUNGE, M. (2003). Twenty-five centuries of quantum physics: From Pythagoras to us, and from subjectivism to realism. *Science & Education*, 12, 445–466.
- EISBERG, R. & RESNICK, R. (1979). *Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas*. 2 ed. Rio de Janeiro: Campus Ltda.
- FREIRE, O. Jr. (2003). A story without an ending: The quantum physics controversy 1950–1970. *Science & Education*, 12, 573–586.
- JAMMER, M. (1974). *The Philosophy of Quantum Mechanics: The Interpretations of Quantum Mechanics in Historical Perspective*. New York: John Wiley & Sons.
- LÉVY-LEBLOND, J.-M. (2003). On the Nature of Quantons. *Science & Education*, 12, 495–502.
- WERTSCH, J.V. (1991). *Voices of the mind: a sociocultural approach to mediated action*. Cambridge: Harvard University Press.
- (1999). *Mind as action*. New York: Oxford University Press.
- (2001). Narratives as Cultural Tools in Sociocultural Analysis: Official History in Soviet and Post-Soviet Russia. *Ethos*, 28(4), 511-533.
- (2002). *Voices of collective remembering*. New York: Cambridge University Press.
- VYGOTSKY, L. S. (1987). *Pensamento e linguagem*. São Paulo: Martins Fontes.

